پژوهشنامه خراسان بزرگ
شماره ۳۰ بهار ۱۳۹۷
No.30 Spring 2018
۸۱-۹۶
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۶

بازشناسی تناسبات و الگوهای هندسی کاربردی در معماری تیموری (مطالعه موردی مدرسه غیاثیه خرگرد)

➢ **فرشته آذرخرداد:** دانش آموخته کارشناسی ارشد باستان شناسی دانشگاه بیرجند
➢ **حسن هاشمی زرج آباد:** دانشیار گروه باستان شناسی دانشگاه مازندران
➢ **علی زارعی:** استادیار گروه باستان شناسی دانشگاه بیرجند

چکیده

خراسان بزرگ و ماوراءالنهر در دورهٔ تیموری بستر تحولات عظیم در روند شکل‌گیری مدارسِ ایرانی بود. از جمله شاهکارهای معماری این دوره، مدرسه غیاثیه خرگرد می‌باشد که در سال ۸۴۶ق به سبک آذری و توسط قوام‌الدین شیرازی بنا شده است. با این وجود، موضوعی که از منظرِ مطالعات معماری مد نظر قرار دارد، بهره‌گیری از الگوهای هندسی در پلان این مجموعه، رعایت تناسبات انسانی و حجم موزون در نمَا و پلان است. هدف از این مقاله روشن ساختنِ تناسبات هندسه عملی و به‌کارگیری پیمون و مقیاس رفیع در ساخت مدرسه غیاثیه می‌باشد. از این رو، سعی بر آن است که به این پرسش‌ها پاسخ داده شود: الگو و نسبت هندسی مورد استفاده در ساخت گنبدخانه، پلان و نمَای این بنا چه بوده است؟ معمار در طراحی این بَنا کدام یک از سیستم‌های تناسبات تیموری را به‌کار برده است؟ با تکیه بر رویکرد توصیفی-تحلیلی و بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای و ثبت و مشاهده میدانی، دریافت می‌گردد که یکی از ویژگی‌های متمایزِ معماری دورهٔ تیموری استفادهٔ هرچه بیشتر از هندسه در طرح‌های معماری است که نمود آن را می‌توان در نهاز و نخیر پلان مدرسه غیاثیه به صورت مدولار مشاهده کرد. همچنین با توجه به این که دوره تیموری عصر شکوفایی ریاضیاتِ محاسباتی بوده و معماران از سیستم تناسبات گوناگونی در ساخت ابنیه استفاده می‌کردند، می‌توان اظهار داشت در ساختِ بنای مدرسه غیاثیه، سیستم تناسب ساده‌ای مانند (√۲) و مشتقات آن در گنبدخانه و پلان، همچنین مشتقات (√۵) در نمَا و مقطع را لحاظ کرده‌اند.

واژگان کلیدی: تناسبات، هندسه، دوره تیموی، مدرسه غیاثیه

Abstract

The great Khorasan and Transoxiana during the Timurid period have been a context for massive changes in the formation of Iranian schools. One of the architectural masterpieces of this period is the *Ghiasiyah* School (*Ghiasiyah* Madrasa) of Khargers, which was built by *Qavameddin Shirazi* in 846 AH in Azeri style. Nevertheless, what is considered in terms of architectural studies is the use of geometric patterns in the plan of this complex, the adherence to the human proportions and the balanced volume in the façade and the plan. The present paper aims at clarifying the proportions of the applied geometry and the application of module and high scale in the construction of the *Ghiasiyah* School. Therefore, it is attempted to answer the following questions: What were the pattern and geometric proportion used in the construction of the dome house, the plan and the façade of this building? Which Timurid systems of proportions have been applied by the architect to design this building? Relying on a descriptive-analytical approach and using library sources and field observation and recording, it can be argued that one of the distinctive features of the Timurid architecture is the greater use of geometry in architectural designs, whose representation can be seen in concavity and convexity (Nahaz and Nakhir) of the plan of *Ghiasiyah* School in a circular manner. Moreover, since the Timurid period was the flourishing age of mathematical calculations, and architects used various systems of proportions in constructing buildings, it can be stated that in the construction of the *Ghiasiyah* School a simple system of proportions such as (√2) and its derivatives have been taken into account in the dome house and the plan, and the derivatives of (√5) have been applied for the façade and the segment.

Keywords: Proportions, Timurid Period, Geometry, *Ghiasiyah* School

*نویسنده مسئول مکاتبات: علی زارعی (۰۹۱۵۳۱۸۹۸۱۴) (azareie@birjand.ac.ir)

مقدمه

مدرسه غیاثیه خرگرد به دلیل ویژگی‌های برجسته و بقایای خوب آن همواره به طور گسترده مورد توجه محققان بوده است (اوکین، ۱۳۸۵: ۳۸۰). بی تردید دوره تیموری را به‌عنوان عصر شکوفایی مدارس ایرانی یاد می‌کنند. همچنین در این دوره است که علوم دقیقه و هندسه به رشد قابل‌توجهی دست می‌یابد. این علوم در معماری جنبه کارکردی پیدا می‌کند و به‌عنوان یک الگو در ساخت بنا مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این که مدرسه غیاثیه از شاهکارهای معماری عصر تیموری می‌باشد می‌توان گفت که در ساخت پلان، فضای درونی و نهاز و نخیر ساختمان از الگوهای ریاضی و هندسی مختص آن دوره استفاده شده است. مدرسه غیاثیه در حاشیه جنوبی روستای خرگرد در ۵ کیلومتری شهرستان خواف در طول جغرافیایی "60°10'41.7 و در عرض جغرافیایی"34°31'56.6، در نزدیکی مرز افغانستان واقع است (تصویر۱). این بنای تاریخی به دستور پیر احمد خوافی مهم‌ترین وزیر حکومت شاهرخ بنا شد.معماری این بنا به دست استاد قوام الدین شیرازی آغاز و به دست غیاث الدین شیرازی در سال ۸٤٦ق به اتمام رسید (صادقی، ۱۳۸۹). با نظر بر این که در ادوار قبل هم استفاده از تناسبات در صناعات معماری رایج بود، اما در معماری عصر تیموری بهره‌گیری از هندسه در طرح‌های معماری به شدت قابل توجه بود. اما در این دوره با در نظر گرفتن بناهایی چون مدرسه غیاثیه خرگرد می‌توان ادعا کرد که در سازه‌های طاقی و ساخت فضای درونی گنبدخانه‌ها از یک نسبت دقیق هندسی استفاده شده است همچنین واحد اندازه گیری بنا با توجه به معمار آن با بقیه بناهای دیگر متفاوت است. مدرسه غیاثیه از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده و هرکدام از منظر خاصی به پژوهش در باب این بنا پرداخته‌اند اما با توجه به پیشرفت ریاضیات کاربردی در عصر تیموری کمتر معمار و پژوهشگری به بیان چنین الگوهایی در ساخت این مدرسه توجه داشته است و موضوعی که برای نگارندگان مد نظر می‌باشد مطالعه الگوهای هندسی در ساخت این مدرسه است. درزمینهٔ علوم هندسه در معماری دوره تیموری صاحب نظرانی چون برنارد اوکین، لیزا گلمبک و دونالد ویلبر در معماری این دوره چندین سیستم تناسبات را مورد بررسی قرار دادند. پژوهشگرانی چون هیلن براند، سرگئی شملنیزکی، جاناتان بلوم، شیلا بلر و گالینا پوگا چنکووا طی کتب و مقالاتی متعدد در باب معرفی بناهای دوره تیموری و ایلخانی به صورت مختصر به بیان ارتباط علم هندسه با صنعت معماری این دوره پرداخته‌اند. باوجود بررسی و مطالعات مختلف در بناهای دوره تیموری توسط محققین مذکور، آن چنان که باید در مورد استفاده علوم محاسباتی در ساختار معماری دوره تیموری بلأخص بنای مدرسه غیاثیه مطالعه شود، نشده است.

در این پژوهش نگارندگان سعی بر آن دارند که با مطالعه الگوهای هندسی دوره تیموری به صورت مجزا به بررسی ارتباط این الگوها با ساخت مدرسه غیاثیه خرگرد بپردازد و در طی این پژوهش به سؤالات زیر پاسخ دهد. الگو و نسبت هندسی مورد استفاده در ساخت گنبدخانه ، پلان و نمای این بنا چه بوده است؟ معمار در طراحی این بنا کدام یک از سیستم‌های تناسبات تیموری را به کار برده است؟ با وجودِ پژوهش‌های ارزنده پژوهشگران مختلف درزمینهٔ هندسه کاربردی و ساختار معماری دوره تیموری ، کمتر پژوهشگری بناهای دوره تیموری را به صورت مجزا در حوزه این علوم بررسی کرده است. به این منظور مقاله حاضر با در نظر گرفتن رویکرد تحلیلی به بیان سهم علوم محاسباتی و هندسه کاربردی در معماری مدرسه غیاثیه می‌پردازد و امید است که این پژوهش ردپایی از سهم علوم ریاضیات را در صناعات معماری دوره تیموری، آشکار سازد.

پیشینه پژوهش

با توجه به غنی بودن معماری ایرانی-اسلامی و تطابق داشتن آن با علوم دقیقه، پژوهش‌های سودمندی در باب ارتباط معماری اسلامی با علوم ریاضی و هندسی صورت گرفته است. به علت اجرای محاسبات کاربردی در معماری دوره تیموری ، می‌توان به مطالعه پژوهشگرانی چون دونالد ویلبر و لیزا گلمبک در *معماری تیموری در ایران و توران* (۱۳۷۴) که الگوهایی کلی را در طراحی ابنیه دوره تیموری مطرح کرده‌اند، *نقد و بررسی معماری تیموری ایران و توران* توسط لیندا کوماروف و *قوام‌الدین شیرازی معماردوره تیموریان* توسط دونالد ویلبر پرداخت. مطالعات پژوهشگران شوروی در این زمینه بسیار ارزشمند است، مطالعاتی چون *تحلیل‌های*

هندسی از بولاتف *بر آرامگاه قتلغ آقا در سمرقند*؛ مان کوفسکایا، *بر آرامگاه خواجه احمد یسوی و جامع سمرقند*؛ *مدرسه گوهرشاد هرات* توسط دونالد ویلبر که بیشتر بر روی بناهای دوره تیموری آسیای میانه متمرکز بوده‌اند (گلمبک و ویلبر، ۱۳۷٤). گلرو نجیب اوغلو در بخش چهارم کتاب *هندسه و تزیین در معماری اسلامی* (۱۹۹۵) به کاربرد هندسه عملی پرداخته است. درزمینهٔ ریاضیات کاربردی در بناهای دوره تیموری می‌توان به پژوهش‌های برنارد اوکین در *معماری دوره تیموری در خراسان* (۱۳۸٦) دربارهٔ سازه‌های طاقی و به کار بردن هندسه اشاره کرد. با این حال پژوهشگران دیگری چون هیلن براند ، سرگئی شملنیزکی ، جاناتان بلوم و شیلا بلر در این زمینه طی مقالاتی گوناگون در رابطه با معرفی بناهای دوره تیموری و ایلخانی با کاربرد علوم دقیقه در بناهای این دوره به مطالعه پرداختند. در سال (۱۳۸۸) پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان مدرسه مبارکه غیاثیه خرگرد، داستان مدرسه‌ای در شهر خورشید توسط مهدی گلچین عارفی در دانشگاه شهید بهشتی همچنین، رساله دکتری در سال (۱۳۹۱) تحت عنوان بازتاب شکوفایی هندسه کاربردی دوران اسلامی (رساله بوزجانی) در تزیینات معماری خراسان (با تکیه بر مساجد گناباد، ملک زوزن و فریومد) توسط مهسا خوارزمی در دانشگاه تربیت مدرس دفاع شده است. دیگر مطالعات صورت گرفته در مورد ارتباط علوم ریاضی با معماری اسلامی، پژوهش‌های جعفر طاهری در مقالاتی چون مناسبات معماری باعلوم دقیقه درمتون علمی دوره اسلامی (۱۳۹۴) و مقاله بازخوانی تحلیل اصول هندسی و تناسب طلایی در مدرسه شوکتیه توسط حسن هاشمی زرج آباد (۱۳۹۴) می‌باشد که نشان دهنده ارتباط عمیق علوم ریاضی با معماری ایرانی اسلامی در دوره تیموری می‌باشد. همچنین در سال(۱۳۹٦) رساله‌ای تحت عنوان بازشناسی و تحلیل تناسبات هندسی بناهای عصر تیموری با تکیه بر آثار معماری قوام الدین شیرازی توسط فرشته آذرخرداد در دانشگاه بیرجند دفاع شده است. در ادامه پایان‌نامه‌های دیگری با مطالعه مدرسه غیاثیه دفاع شده‌اند، اما این پایان‌نامه‌ها به طور انحصاری به بررسی ارتباط ریاضیات محاسباتی با معماری مدرسه غیاثیه کمتر پرداخته شده و اکثراً به مطالعات تطبیقی و تزئینات بنای مدرسه بسنده کرده‌اند. در بسیاری از این دست مطالعات، پژوهشگران توانسته‌اند ارتباط علوم هندسه و معماری دوره تیموری را در بناهای مختلف اثبات کنند. در این پژوهش سعی بر آن است که با استفاده از مطالعات پیشین پژوهشگران مذکور و بررسی گنبدخانه، پلان و نمای مدرسه غیاثیه خرگرد، الگوهای هندسی مطرح شده در دوره تیموری را بر روی این مدرسه بازشناسی کرد.

روش پژوهش

این مقاله از نوع پژوهش‌های بنیادین است، نگارندگان در این پژوهش از روش تحلیلی و گردآوری اطلاعات به صورت مشاهده میدانی و کتابخانه‌ای بهره جستند. همچنین زمینه و مباحث نظری و تئوری این پژوهش از کتاب *مفتاح الحساب* غیاث الدین جمشید کاشانی و کتاب *معماری تیموری در ایران و توران* اثر لیزا گلمبک و دونالد ویلبر اقتباس شده است. پلان و ترسیمات بکار رفته در این نوشتار توسط نگارندگان و از طریق نرم‌افزارهای Photoshop و Auto CAD رسم و تحلیل شده است. همچنین تصاویر به‌کار رفته در این مقاله هم توسط نگارندگان از بنا تهیه شده است. سپس با توجه به این که در دوره تیموری، معماران از چندین سیستم تناسبات درزمینهٔ ساخت بنا استفاده می‌کردند، با بررسی پلان، نما و گنبد خانه‌های مدرسه غیاثیه، الگوی هندسی به کار رفته بازشناسی شده است.

تعریف الگو در معماری

واژه الگو امروزه کاربرد وسیعی در زبان فارسی داشته است و حوزه‌های مختلف علوم هر یک به فراخور حال و نیاز، تعابیر و تعاریف خود را از الگو دارند. معنای عمومی و عامیانه الگو، برابر و مترادف با کلماتی چون «نمونه»، «سرمشق» و «مدل» است (دهخدا، ۱۳۷۷: ۱۵۵). واقعیت این است که هم معنای الگو و هم معنای واژگان و مفاهیم مترادف با آن در ادبیات رشته‌های مختلف علوم روز بسیار عمیق‌تر و دقیق‌تر از معنای عمومی آن است (سلطانی و دیگران، ۱۳۹۱: ٤). الگو یک مدل خاص با چندین قوانین است که می‌تواند چیزی یا قسمتی از یک چیز را تولید کند. در واقع الگو زمینه تولید هرچیزی است که با تکرار صورت گیرد. الگوهای هندسی و هنری می‌تواند در درک و فهم مفاهیم ریاضی و

هندسی مؤثر باشند (عصارزادگان، ۱۳۸۹: ۳). به‌طورکلی، در طرح و ارزیابی هنر معماری، به دو نکته باید توجه داشت: یکی سازه، اصول سازه از ساختمان اصلی و استخوان بندی بنا حکایت می‌کند و با اجرای صحیح این اصول یک بنا قرن‌ها می‌تواند استوار بماند و دیگری نما، که در آن موقعیت و شکل ظاهری بنا مورد توجه است (زمرشیدی، ۱۳۸۷: ۲۶). الگوی هندسی در معماری، معرف تناسب فضایی آن در معماری است. هندسه به‌عنوان یک اصل جدای ناپذیر از سازه و نما همواره مورد توجه بوده است که در نهایت هماهنگی لازم را میان سازه و نما به وجود می‌آورد (هاشمی زرج آباد و دیگران، ۱۳۹٤: ۲۱۱). منظور از الگوی هندسی یعنی تعریف یک هندسه مشخص که شکل دهنده اجزای دو بعدی و سه بعدی در معماری می‌باشد. این هندسه می‌تواند ساده یا پیچیده باشد. تعریف الگوهای هندسی سبب می‌شود که ساخت و شکل‌گیری معماری آسان و گسترش آن قابل کنترل شود و در صورت تخریب مجدداً قابلیت بازسازی داشته باشد. معماری اسلامی ایران نیز بر اساس الگوهای هندسی مشخصی تعریف شده است، که مبنای تمام این الگوها شکل هندسی مربع می‌باشد مانند پلان مدرسه غیاثیه. تعریف یک الگوی هندسی دقیق در پلان، مقطع و فرم معماری ضروری هستند. همچنین کاربندی‌ها و مقرنس کاری‌ها و گنبدها دارای الگوی هندسی خاصی هستند. الگوهای هندسی به عنوان مفاهیم فضایی مستلزم الگوهای سطحی پرکننده فضا هستند، الگوها یا موتیف هایی که پهلو به پهلو رشد می‌کنند (اردلان و بختیار، ۱۳۹۰: ۷۰). این که تنها سه چند ضلعی منتظم وجود دارد که می‌توان که با آن‌ها سطح را به گونه‌ای پر کرد که مجموعه زوایایشان ۳٦۰ درجه باشد یک واقعیت ریاضی است. سه چند ضلعی که این خصوصیات را دارند، مثلث ، مربع و شش وجهی هستند (همان: ۷۰).



تصویر۱. موقعیت مدرسه غیاثیه خرگرد در تصویر ماهواره‌ای
مأخذ: https://www.google.com/maps/place۱۳۹۷:

معرفی هندسه به‌عنوان اساس طرح بناهای دوره تیموری

انسان سنتی تمام مخلوقات را به صورت تجلیات وجود یگانه می‌بیند و در مسیر الهامی که با طبیعت در آن سهیم است به شباهتی در ساختار و تناسب می‌رسد که به وسیله ریاضیات سنجیدنی می‌شود (اردلان و بختیار، ۱۳۹۰: ۵۱). به قطع یقین دانش ریاضیات و هندسه با یکدیگر همپوشانی دارند. تکامل ریاضیات و هندسه، تأثیر مستقیمی بر شکل‌گیری و توسعه معماری ایرانی دارد (Nejad Ebrahim, Aliabadi: 2015:220). تأسیس دولت‌های مستقل در خراسان در اوایل دوران اسلامی و حمایت حکمرانان باعث ایجاد مراکز علمی و فرهنگی و رشد و پرورش دانش و دانشمندان در این سرزمین شد؛

دانشمندان بزرگی در علوم مختلف به‌خصوص ریاضیات در این سرزمین پرورش یافتند. ابوالوفا بوزجانی، ریاضیدان برجسته ایرانی قرن چهارم هجری، در بوزجان، در خراسان، زاده شد و نقشی مهم در کاربردی کردن هندسه و همکاری میان ریاضیدانان و معماران در دوران اسلامی داشت. رساله وی، فی ما یَحتاجُ الیهِ العُمال و الصُنّاع مِن الاشکالِ الهِندسیَه، یکی از معتبرترین منابع در هندسه عملی دوران اسلامی است (خوارزمی، ۱۳۹۱: ۱۵). میراث معماری این دوره در تاریخ به عنوان یک امپراتوری فراگیر ریشه دارد. در دوره تیموری معماری ایرانی به طور متقارن و منظم طراحی شده است (khazaee, 2015: 25). در این دوره غیاث‌الدین جمشید کاشانی با رساله طاق و ازج؛ نمونه دیگری از تأثیر هندسه کاربردی بر معماری را بازگو کرد. دوره تیموریان بی تردید دوران طلایی مدارس ایرانی است، خراسان و ماوراءالنهر زمینه تحولات جدی بودند ، اگرچه مدارسی با طرح‌های بسیار عالی نیز در جنوب ایران ساخته شدند و ویژگی‌های این مدارس گاه در بناهای شمال شرقی کشور به کار گرفته می‌شدند، مانند بادگیر در خرگرد (هیلن براند، ۱۳۷۸: ۲۸۷). یکی از نوآوری‌های ساختمانی قرن پانزدهم آن بود که گنبدها را به‌جای آن که روی سنکنج[1] هشت ضلعی سنتی قرار دهند آن را بر دو جفت قوس متقاطع استوار می‌کردند و برای این کار روی اتاقی مربع به فاصله مساوی از دیوارها ۲ قوس آجری می‌ساختند و سپس دو قوس دیگر عمود بر آن ها بنا می‌کردند ، این قوس‌ها در بالا با یکدیگر همپوشانی داشتند و قاعده چهارگوشی را برای گنبد به وجود می‌آوردند (هاتشتاین و دیلیس، ۱۳۹۰: ٤١٦). تمامی بناهای این دوره دارای تقارن و تعقل و نماهای حجیم، برج‌های زاویه‌ای و یا مناره و یک ورودی عظیم و خوش ساخت با یک هشتی چند ضلعی است که در جوانب به دو تالار عمومی و یا نمازخانه متصل می‌شود (تاکستن و دیگران، ۱۳۸٤: ۵۸). بر اساس گفته‌های پیشین نگارندگان در باب قوس‌های متقاطع، الگوی ریاضی بنای غیاثیه بر اساس همین قوس‌های متقاطع صورت می‌گیرد. به طور کل معماری تیموری در درجه اول در مقیاس بزرگ، قابل توجه است. در این دوره اساس ساختمان‌ها بر پایه فرم و ساخت‌وساز دوره سلجوقی می‌باشد به همراه مقیاس جدید که بر پایه هندسه دوره تیموری استوار بود (,khazaee 25 :2015). در سبک آذری و به خصوص دوره تیموری به علت پیشرفت فنون ریاضیات و هندسه کاربردی الگوهای متنوع‌تری ایجاد شدند که در این زمینه، کتاب مفتاح الحساب غیاث الدین جمشید کاشانی این الگوها را برای سازه‌های طاقی مطرح کرده است. که این کتاب را شاهدی بر تخصص معماران تیموری- ترکمانی در محاسبات پیشرفته می‌شمارند (Necipoglu, 1995). مفتاح الحساب کاشانی، برای ریاضیدانان نوشته شده است تا معماران ، زیرا کاشانی در این کتاب از اصطلاحاتی نام می‌برد که ریاضیدانان به کار می‌برند و با اصطلاحاتی که بنایان و نجاران استفاده می‌کنند متفاوت می‌باشد و این نشان دهنده این است که مخاطبان کتاب، اهل حرفه ساختمان نبودند (komaroff,1993). با این حال می‌توان گفت که معماران دوره تیموری از این کتاب برای ساخت ابنیه استفاده می‌کردند و این نشان دهنده همپوشانی علم ریاضیات و حرفه معماری در دوره تیموری می‌باشد. همچنین می‌توان استدلال کرد که صناعاتی چون بنایی و نجاری با وجود نیاز به علوم ریاضی، در شمار علوم قرار نگرفته‌اند، بلکه اندیشمندان برخی فنون و هندسی که در ساخت ابنیه کاربرد دارند یا برخی علوم ریاضیات کاربردی در صناعات معماری را ذیل علوم ریاضی قرار داده‌اند (طاهری، ۱۳۹٤: ۱۳۲). بااین‌حال در این دوره است ریاضیات جنبه عملکردی پیدا می‌کند و بستر الگویی برای ساختمان سازی می‌شود.

سیستم‌های تناسبات دوره تیموری (قرن ۹ و ۱۰)

قوام الدین شیرازی معمار مدرسه غیاثیه برای صناعت آثار خود دو مرحله تحلیلی و هندسی را به کار می‌گرفت. قوام با به کار بستن ۴ سیستم تناسبات موجود در دوره تیموری توانست آثار معماری ارزنده‌ای را خلق کند (آذرخراد، ۱۳۹٦: ۱۴۷).

۱. سکنج شامل دو طاق اریب است که همدیگر را در یک نقطه قطع کرده باشند. شیوه زدن طاق ممکن است به صور مختلف (رومی، ضربی، چپیله، لاپوش و تیغه‌ای) باشد در هر حال، تقاطع دو طاق اریب این نوع گوشه سازی را به وجود می‌آورد (هاشمی زرج آباد ، ۱۳۹۰: ۱۲۵).

مربع و مشتقات آن: که مهم‌ترین آن قطر ۲√ نیمه و مضاعف آن و ضلع یک هشت ضلعی (۱-۲√) است (اوکین، ۱۳۸۶: ۱۱۰).

مثلث متساوی الاضلاع، مشتقات آن: یعنی ضلع و ارتفاع $\frac{\sqrt{3}}{2}$. این چنین مثلث‌هایی در پیکره‌های دوازده گوش (ضلع مساوی است؛ ۳√-۲)نقشی ایفا می‌کند. گاهی اوقات هندسه مربع و مثلث متساوی الاضلاع با هم هم ترکیب می‌شد، مانند آنچه در مستطیل‌های (۳√:۲√) که ارتفاع آن نصف مربع مولد است. اغلب باربر (۳√) به کار می‌رفت. اندازه این بعد را می‌توان با محاط ساختن یک پنج ضلعی و امتداد شعاع‌های آن کشید.

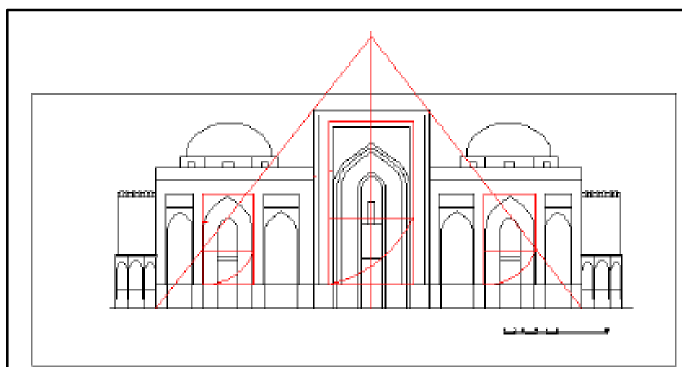
نیم مربع: معمولاً با تقسیم مربع یک اتاق به نیمه‌هایی تشکیل می‌شود: به این طریق که با ترسیم قطرهای دو دسته نیم مربع به مربعی در مرکز دست می‌یابیم که ضلع آن $\frac{1}{\sqrt{5}}$ است. خود قطر $\frac{\sqrt{5}}{2}$ نقش عمده‌ای مخصوصاً در تعیین بلندی‌ها دارد. روش دیگر برای به دست آوردن مستطیلی به همان تناسبات ما، مثلثی می‌شود که درای نسبت ۵√:۲: ۲ است. یک شکل مشترک که با نیم مربع ارتباط داشت مثلثی بود که از قطر و دو ضلع درست شده و می‌توانست برای جدا کردن قطعات متناسب خط ۵√۱ و ۵√۱(۱-۵√) به کار رود. این کار به صورت انجام می‌گرفت که قوسی را در راستای وتر جدا می‌کردند، شعاع که ارتفاع مثلی بود سپس از این نقطه عمودی به قاعده وارد می‌ساختند. این تناسبات گاهی برای طرح نماها به کار گرفته شد.

ریشه پنج مستطیل: با به کار بردن نیم مربع، قاعده را ممکن بود به طریقی دیگر که قبلاً نزد یونانیان به‌عنوان «حد متوسط» نسبت شناخته شده بود و در ساختن «بخش طلایی» نقش دارد، تقسیم کرد. این کار به این گونه انجام می‌گیرد که قوسی به طول ارتفاع در راستای وتر، مانند حالت قبل جدا کرده، سپس یک قوس ثانوی که مرکز آن در زاویه کوچک‌تر باشد در نقطه روی وتر رسم می‌کنند . درجایی که این قوس قاعده مثلث را قطع می‌کند، خط را به دو بخش یکی بزرگ‌تر $\{\frac{(\sqrt{5}-1)}{2}\}$ یا M و دیگری کوچک‌تر $\{\frac{(3-\sqrt{5})}{2}\}$ یا m تقسیم می‌نماید. مضرب‌های این بخش معمولاً در طرح‌ریزی نماهای داخلی و خارجی و فضاهای بسیار دیگر استعمال می‌شد.تعدادی مثلث کاهنده به همان شکل برای قطر مناره‌ها {۲/(۵√-۳√-۷)؛ ۴/۵√-۳√-۷)...}به کار گرفته می‌شد. یک ده ضلعی محاط در یک دایره با شعاع ۲ دارای ضلعی معادل ۱-۵√ است. راست گوشه طلایی با افزون واحد ۱ به بخش بزرگ‌تر M {۱:۲/(۱+۵√)}} درست می‌شد. با استفاده از نیم مربع به‌عنوان قاعده آسانی می‌توان راست گوش را کشید(گلمبک و ویلبر، ۱۳۷۴: ۱۹۴). الگوهای فوق با در نظر گرفتن نوع قاعده طاق و شبکه‌های سنکنجی به اجرا در می‌آمدند.

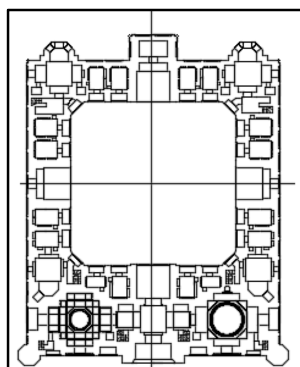
تحلیل الگوی هندسی در معماری مدرسه غیاثیه

مدرسه خرگرد دو گنبدخانه ، یک مسجد با گنبدی بر روی قوس‌های کشیده و درسخانه ای با یک گنبد فوق العاده بر روی قوس‌های متقاطع و برجکی نورگیر دارد، این طرح بدیع در آرامگاه بایسنقر که قوام الدین شیرازی در هرات ساخته تکرار شده است (تاکستن و دیگران، ۱۳۸٤: ۵۸). پلان مورد استفاده در این مدرسه پلان چهار ایوانی بود و در مقیاسی بزرگ‌تر از آن چه که در سرزمین‌های اسلامی رواج داشت. نوآوری اصلی که در مدارس این دوره بالأخص مدرسه غیاثیه اجرا شده بود مقیاس است. استفاده آگاهانه از مقیاس‌های بزرگ در مساجد ایرانی از قدیم دیده می‌شد اما این نتیجه واضح بنای مساجد نبود. مدرسه غیاثیه در خرگرد نشان می‌دهد که این فضاهای بزرگ با چه حساسیتی استفاده می‌شده است ، حیاط مربع شکل آن با دیوارهای کوتاه‌تر و بلندتر پیرامون به نسبت ۲:۳:٤ ارتباط میابد. همچنین در پلان و مقطع عمودی بنا از اصل قرینگی که یکی از شاخصه‌های تناسبات زرین ایرانی است، استفاده شده است (تصویر۲). شکل مربع دارای فرمی ایستا و پرصلابت است که خشونت مثلث و محدودیت عملکردی آن را ندارد و بر خلاف چند ضلعی‌ها از لحاظ ساخت نیز راحت‌تر به دست می‌آید. چهار گوشه مربع و نقاط وسط هر ضلع مهم‌ترین نقاط یک مربع هستند (انصاری، ۱۳۶۷: ٦۰). بنا بر تحلیل هندسی پلان می‌توان اظهار داشت، ایوان‌ها، مدرس و شبستان در بهترین نقاط خود یعنی در وسط اضلاع مربع قرار گرفته‌اند. همچنین گنبد خانه‌ها و بادگیر هم در نقاط گوشه جای داده شده‌اند (تصویر ۳و٤). آخرین تحقیقات نشان می‌دهد که چنین ارتباطهایی از لحاظ

تناسب که شامل ارتفاع نیز می‌شود در بناهای دیگر دوران تیموریان دیده شده‌اند و خیلی بیشتر از آنچه تصور می‌شود مورد استفاده قرار می‌گرفته است. تأثیر آن این است که به ابعادی مهیب این بناهای بزرگ با نماهایی پرده مانند، مقیاسی انسانی بدهد (هیلن براند، ۲۸۸: ۱۳۷۸).



تصویر۲. تناسبات طلایی و اصل قرینگی در مقطع عمودی
مأخذ: اوکین، ۱۳۷٦ :۱۳٦



تصویر۳. اصل قرینگی و نقاط عملکردی
مأخذ: نگارندگان

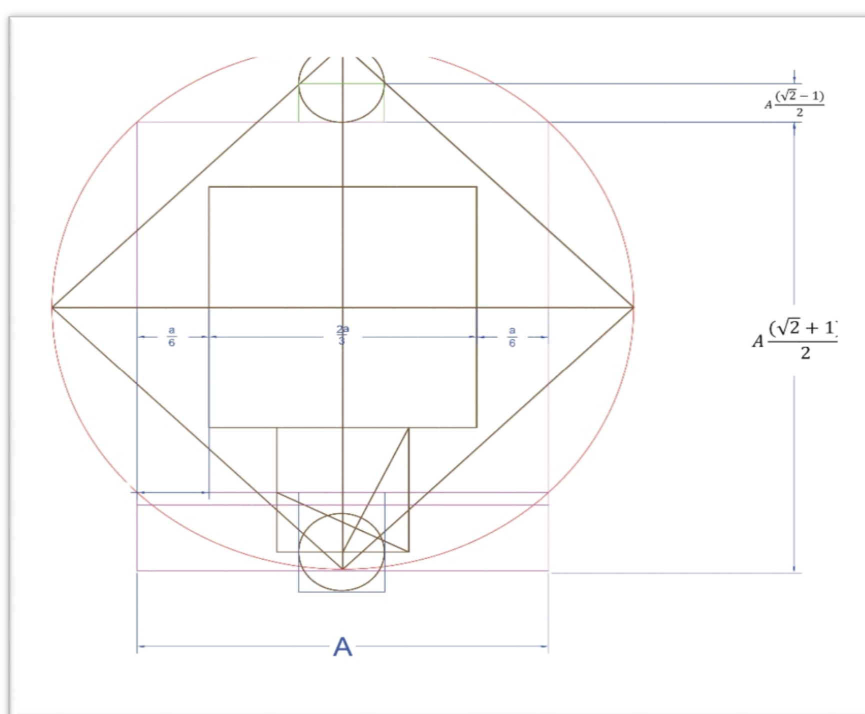
در مدرسه غیاثیه یکی از مشخص‌ترین الگوهای هندسی الگوی مربع است که در پلان بنا قابل ملاحظه است. فن پوشش ساختمانی و هم از نظر تزیین بندی کردن بنا ذوق هنری قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. تماشایی‌ترین گنبدها در دو تالار بزرگ مجموعه ورودی یافت می‌شود. آن‌ها با طرح افقی مشابه یعنی مربع با شاه نشین های عمیق مدور ازلحاظ ساختمانی مختلف می‌باشد (ویلبر و گلمبک،۱۳۷٤: ٤٤۹). مسجد (در سمت راست) چهار قوس دیواری جسیم دارد که شاه نشین ها را پوشانده و به عنوان پایه‌های دارد که پنجره‌هایی در آن تعبیه شده است. گنبد واقعی بر روی این گریو واقع شده است. شاه نشین ها مطابق تقسیمات یک مربعی که یک هشت ضلعی در آن محاط گشته به سه بخش تقسیم شده است(همان: ٤٥۰).این تحلیل، ابعاد بزرگ‌تر بنا و اتاق شرقی آن را موردبررسی قرار می‌دهد. تحلیل صورت گرفته بر اساس نقشه‌های انتشار یافته است. مدرسه غیاثیه خرگرد به نسبت انواع سیستم تناسب دوره تیموری، سیستم تناسب نسبتاً ساده‌ای دارد. غالب ابعاد بر اساس مربع و مشتقات آن استوار است.

تحلیل هندسی پلان

اگر عرض نما یک واحد مولد باشد، طول راست گوشه بیرونی (منهای دهانه پیش آمده و درگاه) نصف حاصل جمع قطر و ضلع یک مربع بر اساس طول نما یا$\{\frac{\sqrt{2}+1}{2}\}$:Aاست. این راست گوشه را با درست کردن مربعی با ضلع A و مربع دومی با همان مرکز که٤٥ درجه شده باشد، به آسانی می‌توان کشید. مسافت از وسط قاعده مربع اول تا گوشه مقابل مربع چرخیده (yx) اندازه بعد لازم را به دست می‌دهد. بادگیر در داخل گوشه مربع چرخیده به فاصله نصف ارتفاع مثلث گوشه یعنی$\{\frac{\sqrt{2}-1}{2}\}$ Aطرح ریزی شده است. عمق ساختمان‌های اطراف صحن در همه اضلاع مساوی است بجزء دو ضلع ورودی. اندازه بعد، یک ششم عرض نما است. به این ترتیب، نما به هشت بخش تقسیم می‌شود که دو بخش آن شامل درگاه است و دو طرف دیگر هر یک شامل سه بخش است. به این نحو تناسبات نما، که از نظر حساب از نسبت حد وسط گرفته شده ضلع گنبدخانه های پشت نما را به دست می‌دهد، یعنیa =M(A/4). (تصویر۴). با توجه به تصویر۴، بنای این مدرسه با مسئله «پرهون دایره» یا «دایره مبنا» انطباق دارد.

در گذشته بهره گیری از پرهون دایره در کانون طرح و ساختمان به ویژه در میان سراها رواج داشت. برای به دست آوردن

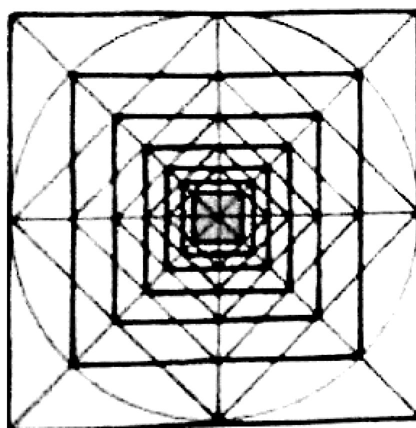
تناسبات دقیق در فضاها و خطوط راهنما، بویژه در نماهای گرداگرد میان سرا، دایره‌ای به ستبرای پهنای میان سرا زده می‌شد. سپس مربع‌های محاطی و نیز دایره‌ای محاط ، در این مربع محاطی زده می‌شد و دوایر و مربع‌های کوچک‌تر به همین منوال، درون آن کشیده می‌شدند (رنجبر، ۱۳۸۲: ۵۱). شواهد نشان می‌دهد که برخی از پیشینیان، استفاده از شکل کامل مربع را نهی می‌کردند؛ بنابراین با ایجاد یک نقص در گوشه‌های شکل، آن را از حالت مربع کامل خارج کرده و مورد استفاده قرار می‌دادند. از دلایلی که برای این مسئله می‌توان برشمرد عبارت‌اند از: احتمال وقوع اتفاق ناگوار، بدیمن بودن شکل صلیب (تربیع و تثلیث)، پنج ضلعی کردن شکل برای مربع و مناسب نبودن انجام کار کامل برای «الشکل الکامل» چهارضلعی برای نشان دادن نقص امور مادی، اشاره به تعبیر انسان، مربع دو مثلث را تشکیل می‌دهد و مثلث بد یمن است، نظر دشمنی تربیع، شباهت به نعش (تربیع جنازه یا بنات النعش و بدیمن بودن آن)، لاخیر فی تربیع و اتفاق نظر حکما بر نحوست شکل مربع (شیخ الحکمایی، ۱۳۸۶: ۹۱). در بنای غیاثیه وجود دیوارها با گوشه‌های پخ را می‌توان نشان از باور نحوست تربیع دانست.



تصویر٤. تحلیل هندسی پلان مدرسه غیاثیه
مأخذ: نگارندگان

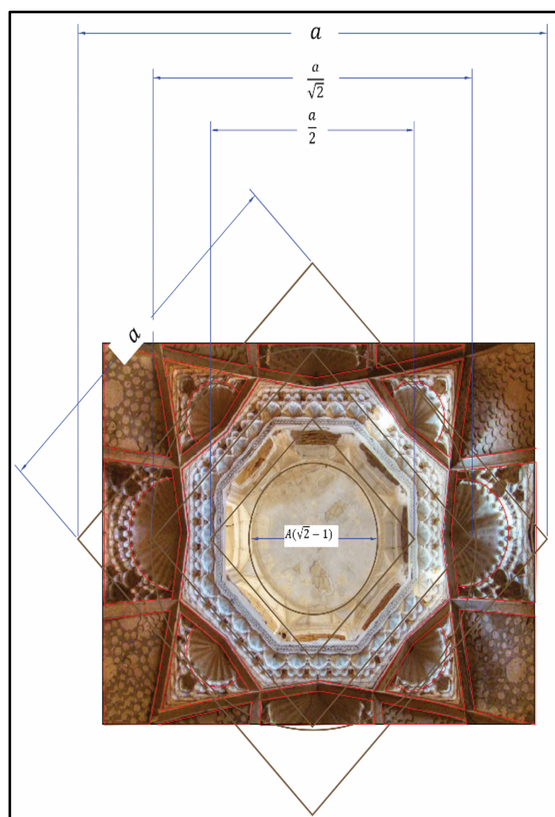
تحلیل هندسی گنبدخانه شرقی
نسبت ویژه یا برش مربع با قطر خود؛ «$\sqrt{2}$»

تناسبات رایج در ترکیب بندی هنرهای سنتی از جمله نسبت $\sqrt{2}$ در ایران، مراجع مختلفی دارد، مرجع ابتدایی آن در بخش مربوط به «تناسبات هندسه در عمل» از ریاضیدان برجسته قرن چهارم هجری/ دهم میلادی، ابوالوفاء بوزجانی است (السعید، ۱۳۶۳ :۳۵۶). بوزجانی الگوی مبنا را دستگاه مربع و ریشه دوم نسبت‌هایش می‌خواند و تعریف آن را این گونه بیان می‌کند: «نسبتی افزاینده است که سطح و محیط و اضلاع آن‌ها با یکدیگر مقدار ثابتی می‌باشد (البوزجانی، ۱۳۸٤: ۹۸). مربع‌های متحدالمرکز با قانون رشد $\sqrt{2}$، خطوط انتظام دهنده‌ای را می‌سازد که متکی به ستاره‌ای هشت پر است (هشت ضلعی) و اضلاع پی در پی آن با نسبت $\sqrt{2}$ به هم وابسته‌اند.(تصویره) این قانون هندسی در گنبد خانه شرقی مدرسه غیاثیه و کاربندی آن به اجرا درآمده است.

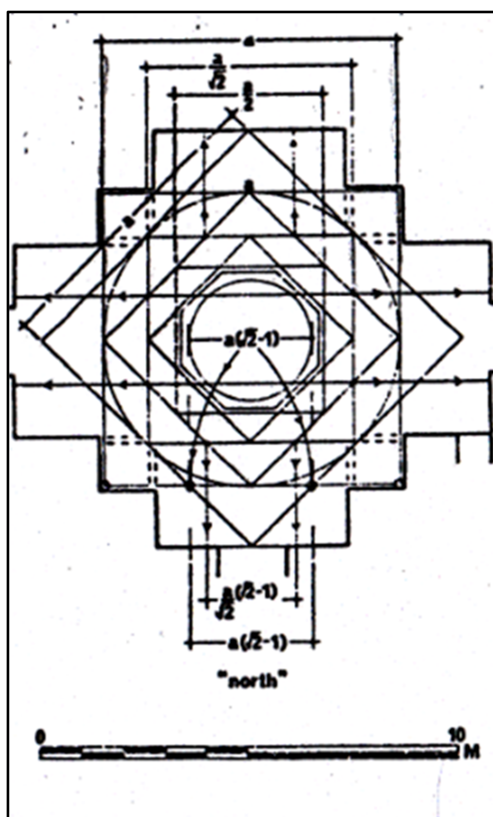


تصویر۵. تناسب مربع رشد یابنده
مأخذ: (بمانیان و دیگران، ۱۳۹۰: ۱۷٤)

در گنبد خانه شرقی، ابعاد مربع و طاقنماها و عناصر قابل ملاحظه روبنای آن از یک سیستم مربع‌های رشد یافته (افزاینده) مشتق می‌شود. سه جفت مربع چرخیده از داخل به‌سوی نورگیر گنبدی شکل پیش می‌رود. اضلاع این مربع‌ها از تصاعد هندسی $a, \frac{a}{\sqrt{2}}, \frac{a}{2}$ پیروی می‌کنند. (تصویر ٦ و ۷).



تصویر٦. تحلیل هندسی گنبدخانه شرقی
مأخذ: (نگارندگان)



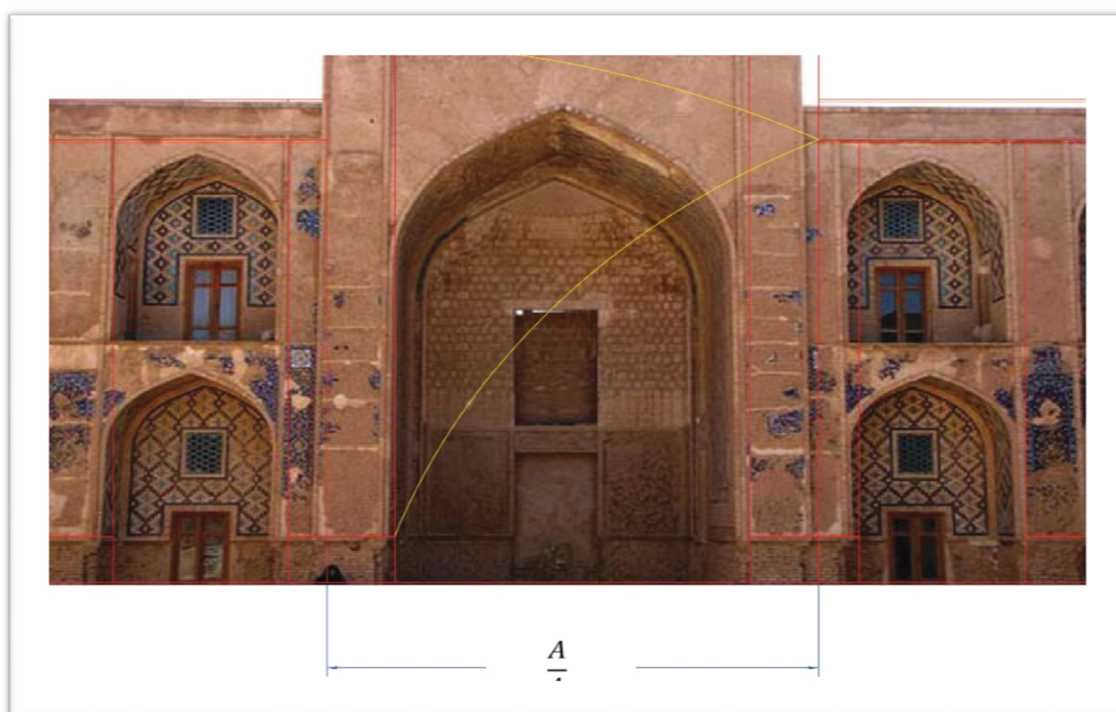
تصویر۷. طرح گنبدخانه شرقی
مأخذ: (گلمبک و ویلبر، ۱۳۷٤: ۲۰۹)

تحلیل هندسی مقطع عمودی نما

برای مقطع عمودی نمای بنای واقع در خرگرد رابطه‌های تناسبی بیشتری را می‌توان ارائه داد. عرض درگاه(یک چهارم طول نما (تصویر۸) به عنوان اندازه ارتفاع طرفین نما در نظر گرفته شده بود. درگاه به خودی خود یک راست‌گوشه است (۱:√۲) که ارتفاع آن طول قطر مربعی است که بر اساس

عرض درگاه درست شده. طرفین نما، به انضمام دیوار مورب مناره، راست گوشه‌های مشابهی را تشکیل می‌دهند که بر روی اضلاعشان قرار گرفته‌اند. اگر طول نما (F) شامل مناره‌های گوشه‌ای باشد، پس طول قسمت جانبی بین مناره و درگاه ۲(F(M $\frac{\sqrt{5}-1}{4}$ a است. قسمت جانبی به تنهایی ۲راست گوشه ø می‌شود. به خاطر تزئین کاری دیوار، این راست گوشه را به آسانی قابل مشاهده است (تصویر۸ و ۹)

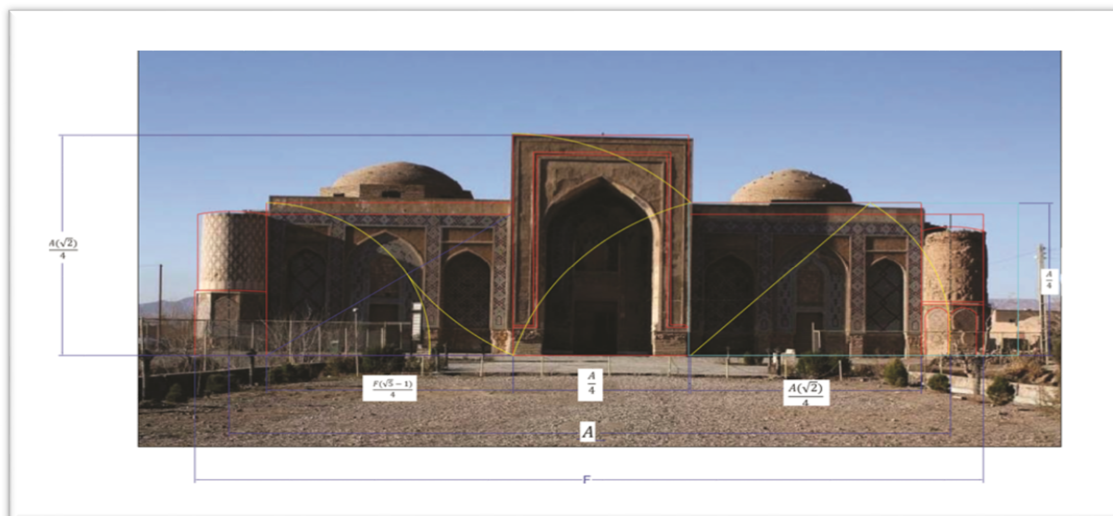
(گلمبک و وبلبر، ۱۳۷۴: ۱۵۶). اگر بخواهیم برای ایوان ، الگوی هندسی در نظر بگیریم می‌توانیم از قاعده ششم استفاده کنیم. این قاعده نمایان گر قطر مربع به همراه نیم مربع (مستطیل مکمل) می‌باشد. در این صورت مربعی را تا قسمت فوقانی دیوار گنبدخانه که با قسمت پاکار ایوان هم سطح است، رسم کرده و قطر آن را مشخص می‌کنیم، سپس از پاکار ایوان تا قسمت فوقانی چکاد[1] را به عنوان نیم مربع یا مستطیل مکمل در نظر می‌گیریم (تصویر۹و۱۰).



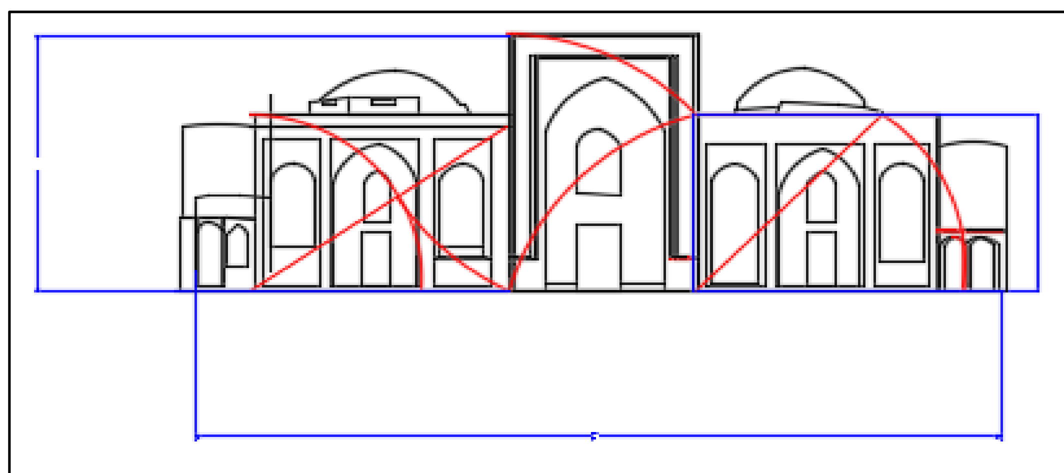
تصویر۸. تحلیل هندسی ایوان

مأخذ: نگارندگان

۱. به پیشانی ایوان چکاد گویند.



تصویر۹. تحلیل هندسی مقطع عمودی نمای مدرسه غیاثیه
مأخذ: نگارندگان



تصویر۱۰. طرح تحلیل هندسی مقطع عمودی نمای مدرسه غیاثیه
مأخذ: نگارندگان

کاربندی

با توجه به بازنگری فضای درونی مدرسه، علی‌الخصوص دو گنبد خانه، مبحث چبیره سازی را نمی‌توان در زمینه الگوهای هندسی نادیده گرفت. در این بنا منطقه انتقالی با کاربندی صورت گرفته است. کاربندی نوعی پوشش است متشکل از تیر طاق‌هایی با قوس معین که تحت قواعد هندسی ویژه‌ای همدیگر را قطع می‌کنند (بزرگمهری، ۱۳۸۵: ۱). همچنین کاربندی یکی از الگوهای اصیل و کهن در معماری ایران و حاصل از شناخت معماران ایرانی نسبت به علم هندسه و ریاضیات پیشرفته است (محمدیان و فرامرزی، ۱۳۹۰: ۹۷). یکی از پیچیده‌ترین اشکال چبیره سازی است که بر اساس همین سه الگوی هندسی مربع و مثلث و چند وجهی شکل گرفته است. مطالعاتی که سال‌های اخیر بر روی رابطه میان ریاضیات و هندسه و هنر ایرانی صورت گرفته است، حاکی از این است که هنرمندان مسلمان ایرانی در قرون میانی پیشرفت‌های شگرفی در ریاضیات و هندسه داشته‌اند (Lu, 2007:1106). با توجه به این که این نوع چبیره سازی (کاربندی) دارای قابلیت‌های متنوع هندسی می‌باشد در ادوار گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است و گونه‌های فراوانی از آن منشعب شده است (محمدیان و فرامرزی، ۱۳۹۰: ۹۸). اما در دوره تیموری به سبب دگرگونی سبک صنعت معماری و تکیه بر عمودیت بنا این نوع شیوه چبیره

سازی مورد توجه بیشتری قرار می‌گیرد. در دوره تیموری ارتفاع بنا و عمودیت آن بیشتر می‌شود معماران برای فضا سازی درونی از این راهبرد استفاده می‌کردند. در تکنیک هندسی کاربندی گونه‌های متنوعی از آن به وجود آمده است، که همه آن‌ها بسته به عمکرد باربری و تزئینی دارد. در مدرسه غیاثیه در دو گنبد خانه آن از کاربندی ۸ ضلعی استفاده شده است که حتی بر اساس همین نوع کاربندی نسبت طاقهای مدرسه مشخص شده است (تصویر۶و۷). در گنبد خانه‌های مدرسه غیاثیه شمسه و تعداد ۸ ترنج وجود دارد که یکی از کاربندی‌های دقیق هندسی را در معماری اسلامی ایجاد کرده است. که این نوع از کاربندی ، دارای قالب سرسفت و یکی از کامل‌ترین نوع می‌باشد که از لحاظ ساختاری با کاربندی مدرسه گوهرشاد هرات شباهت دارد. البته کاربندی گنبد خانه غیاثیه از گچ ساخته شده و جنبه باربری ندارد.و بر اساس همان الگوی هندسی مربع و مشتقات آن، (قطر √۲ نیمه و مضاعف آن و ضلع یک هشت ضلعی (۱-√۲)) طراحی شده است.

پلان	استفاده از قاعده ۱یعنی √۲ و مشتقاتش مانند $\frac{\sqrt{2}+1}{2}$		
مقطع عمودی نما	تلفیقی از قاعده ۶ (نیم مربع و نسبت √۵) و قاعده۸ (ریشه ۵ مستطیل و نسبت √۵ و مشتقاتش مانند $\frac{\sqrt{5}-1}{2}$		
گنبد خانه شرقی و کاربندی	استفاده از قاعده ۱و مربع‌های متحدالمرکز با قانون رشد $\sqrt{2}$		

ایوان	استفاده از قاعده ۸ و قاعده ٦ (ریشه ٥ راست گوشه) و قطر مربع به همراه مستطیل مکمل		

تصویر ۱۱. تحلیل هندسی مدرسه غیاثیه

مأخذ: (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

یکی از ویژگی‌های اصلی معماری دورۀ تیموری، بهره‌گیری از هندسه می‌باشد. معماری و صناعات وابسته به آن در دوره تیموری به شدت تحت تأثیر هندسه کاربردی قرار گرفت. در این دوره عواملی باعث شکوه و عمودیت بنا می‌شود که ردپای این عوامل را باید در مباحث ریاضیات و الگوهای هندسی جست‌وجو کرد. معماران این دوره سعی بر آن داشتند که در ساخت بناهای خود از این الگوها استفاده کنند که باعث تقدیق هرچه بیشتر در معماری می‌شود، چنانکه مدرسه غیاثیه خرگرد شاهد گواه بر این امر است. در مدرسه غیاثیه یکی از مشخص‌ترین الگوهای هندسی الگوی مربع است که در پلان بَنا قابل ملاحظه است. الگوی هندسی مربع به دلیل فرمی ایستا و با صلابت تقاضای بیشتری در میان معماران دوره اسلامی دارد. در طراحی گنبدخانه شرقی و پلان مدرسه از قاعده ۱ استفاده شده است، در گنبدخانه شرقی سیستم مربع‌های تقلیل یافته که سه مربع چرخیده از داخل به‌سوی نورگیر گنبدی شکل پیش می‌رود و اضلاع این مربع‌ها از تصاعد هندسی a و $\frac{a}{\sqrt{2}}$ و $\frac{a}{2}$ پیروی می‌کنند. همچنین بر اساس مطالعه و ترسیم پلان، می‌توان نسبت هندسی $\sqrt{2}$ و مشتقات آن مانند $\{\frac{\sqrt{2}+1}{2}\}$ و $\{\frac{\sqrt{2}-1}{2}\}$ را تحلیل کرد. معمار در طراحی مقطع عمودی نما تلفیقی از قاعده ٦ (نیم مربع و نسبت $\sqrt{5}$) و قاعده ۸ (ریشه ٥ مستطیل و نسبت $\sqrt{5}$) و مشتقاتش مانند $\frac{\sqrt{5}-1}{2}$ را به‌کار برده است، چنانکه منطقه بین مناره و درگاه از نسبت $\frac{\sqrt{5}-1}{4}$ تبعیت می‌کند و درگاه مدرسه که به تنهایی یک چهارم کل نما را در برمی‌گیرد و خود دارای نسبت هندسی قطر مربع به همراه مستطیل مکمل یا نیم مربع می باشد که طبق قاعده ٦ (نیم مربع و نسبت $\sqrt{5}$) است. ازاین‌رو، تکنیک هندسی کاربندی در دوره تیموری، ابزاری برای کم کردن عمودیت بنا می‌شود. نوع کاربندی این بنا قالب سرسفت هشت ضلعی و با نسبت ۱ به $\sqrt{2}$-۱ می‌باشد که از قاعده ۱ پیروی شده است. با تحلیل چنین الگوها و سیستم تناسبات به‌کار رفته در ساخت مدرسه غیاثیه، پژوهش حاضر توصیفی از نقش ریاضی‌دانان و کاربرد دانش هندسه توسط معماران از جمله قوام‌الدین شیرازی در فرایند تکوین معماری در دورۀ تیموری می‌باشد. با بررسی و تحلیل هندسی مدرسه غیاثیه خرگرد می‌توان اظهار داشت که معمار از اصول هندسه جهتِ ساخت بنا بهره برده است. در این دوره ابنیه دارای ضوابطی خاص است که این ضوابط همان ده قاعده یا سیستم تناسبات موجود در معماری دوره تیموری محسوب می‌گردد. ایجاد تناسبات خاص در نیارش بنای موجود نقش اساسی دارد که باعث سازوار و به اندام شدن بنا شده است.

فهرست منابع

۱. آذرخرداد، فرشته. (۱۳۹٦). «بازشناسی و تحلیل تناسبات هندسی بناهای عصر تیموری با تکیه بر آثار معماری قوام الدین شیرازی»، *پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته باستان‌شناسی*، دانشگاه بیرجند، دانشکده هنر.

۲. اردلان،نادر، لاله بختیار. (۱۳۹۰). *حس وحدت*. ترجمه ونداجلیلی، تهران: موسسه علم معمار.

۳. السعید، عصام. (۱۳٦۳). *نقش‌های هندسی در هنر اسلامی*. ترجمه مسعود رجب نیا، تهران: سروش.

٤. اوکین، برنارد. (۱۳۸٦). *معماری تیموری در خراسان*. ترجمه علی آخشینی، تهران: بنیاد پژوهش‌های اسلامی آستان قدس رضوی.

۵. اوکین، برنارد. (۱۳۷٦). «مساجد ایران و آسیای مرکزی»، ترجمه عبدالله برادران، **هنر**، شماره۳۲، ۱۵۳-۱۲٤.
٦. بزرگمهری،زهره، پیرنیا، محمدکریم. (۱۳۸۵). ***هندسه در معماری***. سازمان تهران: میراث فرهنگی و گردشگری.
۷. بمانیان، محمدرضا و همکاران. (۱۳۹۰). ***کاربرد هندسه و تناسبات در معماری***. تهران: انتشارات هله/طحان.
۸. بوزجانی، ابولوفامحمد. (۱۳۸۴). ***هندسه ایرانی***، ترجمه سید علیرضا جذبی، تهران: سروش.
۹. پیرنیا، محمدکریم. (۱۳۸۲). ***سبک‌شناسی معماری اسلامی***. تهران: پژوهنده.
۱۰. تاکستن، حیدر و همکاران. (۱۳۸٤). ***تیموریان*** . ترجمه و تدوین یعقوب آژند، تهران: مولی.
۱۱. خوارزمی، مهسا. (۱۳۹۲). «بازتاب شکوفایی هندسه کاربردی دوران اسلامی (رساله بوزجانی) در تزیینات معماری خراسان (با تکیه بر مساجد گناباد، ملک زوزن و فریومد)»، (پایان نامه دکتری در رشته معماری معماری)، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده هنر و معماری.
۱۲. دهخدا، علی اکبر. (۱۳۷۷). ***لغت نامه دهخدا***. تهران: دانشگاه تهران.
۱۳. رنجبر، علی محمد. (۱۳۸۲). ***فرهنگ مهرازی (معماری) ایران***. تهران: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
١٤. زمرشیدی،حسین. (۱۳۸۷). ***طاق و قوس در معماری ایران***. تهران: شرکت عمران و بهسازی شهری.
۱۵. سلطانی، مهرداد و همکاران. (۱۳۹۱).« تطبیق نقش الگو و مفاهیم مبتنی بر تجربه در فضای معماری» ، ***باغ نظر***، شماره ۲۱، ۱۲-۳.
۱٦. شعرباف، اصغر. (۱۳۸۵).***گره و کاربندی***. تهران: سازمان میراث فرهنگی وگردشگری.
۱۷. شیخ الحکمایی، عمادالدین. (۱۳۸٦). «نحوست تربیع و تجلی این باور در اسناد دوره اسلامی»، ***نامه بهارستان***، دفتر١٤-۱۳، ۹٤-۸۵.
۱۸. صاحب محمدیان، منصور، فرامرزی، سینا. (۱۳۹۰). «گونه‌شناسی و تدوین ساختار هندسی کاربندی در معماری ایران»، ***نشریه هنرهای زیبا – معماری و شهرسازی***، شماره ٤۸، ۱۰۹-۹۷.
۱۹. صادقی، علیرضا، احمدی ، فریال. (۱۳۸۹). « تاملی بر اصول معماری در دوره تیموری با تاکید بر بازشناخت بنای مدرسه غیاثیه خرگرد».***کتاب ماه هنر*** ، شماره ۱٤۹، ۱۱۱-۱۰٦.
۲۰. طاهری ، جعفر. (۱۳۹٤). «مناسبات معماری با علوم دقیقه در متون علمی دوره اسلامی». ***مطالعات معماری ایران***، شماره۷، ۱۵۰-۱۲۷.
۲۱. عصارزادگان، نرگس. (۱۳۸۹). «بررسی روش‌های ابولوفاء بوزجانی درباره تقسیم و ترکیب مربع‌ها : مربوط به الگوهای هندسی موجود در هنرهای اسلامی شهر اصفهان».***کتاب ماه علوم و فنون*** ، دوره دوم ، شماره ۱۲۹، ۷-۳.
۲۲. کاشانی، غیاث الدین جمشید. (۱۳۹۷ه.ق). ***مفتاح الحساب***. تألیف نادر النابلسی، دمشق: مطبعة الجامعة الدمشق.
۲۳. کیانی، محمدیوسف. (۱۳۹۱).***تاریخ هنر معماری ایران در دوره اسلامی***، تهران: سمت.
۲٤. گرابر،اولگ و همکاران. (۱۳۸۸). ***معماری اسلامی***، ترجمه اکرم قیطاسی، تهران: سوره مهر.
۲۵. ویلبر، دونالد و گلمبک، لیزا. (۱۳۷٤). ***معماری تیموری درایران و توران***. ترجمه کرامت الله افسر، محمد یوسف کیانی، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
۲٦. ویلبر، دونالد.(۱۳۸۷).« قوام الدین شیرازی معمار دوره تیموریان». ترجمه هدیه نوربخش،***گلستان هنر***، شماره ۱۳، ۷٤-۸.
۲۷. هاتشتاین، مارکوس و دیلیس، پیتر. (۱۳۹۰).***اسلام: هنر و معماری***. ترجمه: فریبرز مجیدی، تهران: پیکان.
۲۸. هاشمی زرج آباد، حسن. (۱۳۹۰). «نیارش سازه‌های طاقی در معماری آرامگاهی خراسان». ***مطالعات فرهنگی اجتماعی خراسان***، شماره ۲۰، ۱٤۵-۱۱۸.
۲۹. هاشمی زرج‌آباد، حسن و همکاران. (۱۳۹٤). «بازخوانی تحلیل اصول هندسی و تناسب طلایی در مدرسه شوکتیه»، ***پژوهش‌های باستان شناسی ایران***، شماره ۹، ۲۲۲-۲۰۷.
۳۰. هیلن براند، رابرت. (۱۳۷۸). ***معماری اسلامی، فرم،عملکرد ومعنی***، ترجمه ایرج اعتصام، تهران: شرکت پردازش برنامه ریزی شهری.
31. Gulru,Necipoglu.(1995). "the topical scroll-Geometry and ornament in islamic artchitecture" , with an essay on the geometry of the muqarnas bu mohammad al- asad , ***The getty center for the history of art and the humanities***.
32. Komaroff, linda," rewiewof the timurid architecture of irananaturan" , by lisa golombek

and Donald M. Wilber*, jornal of the American oriental society* 111, no.3, pp. 11-609.

33. Khazaee,Maryam.(2015)."influence of timurid architecture on safavid and mughul mosqes in india"(thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of doctor of philosofhy), univetsity of Malaya Kualalampur, faculty of built inviroment.

34. lu, peter J, paul J. Steinhardt .(2007)." decagonal and quasi, crustalline tiling in medieval Islamic architecture*" sciens 315* :1106-1110

35. Nejad Ebrahimi, Ahad, Aliabadi, morteza (2014) "The Role of Mathematics and Geometry in Formation of Persian Architecture", *Asian Culture and History*, Vol. 7, No. 1.pp. 220-239.

36. https://www.google.com/maps/place: 1397.